

DOI: 10.12731/2227-930X-2020-3-99-113

УДК 629.01

## КОМПЕТЕНТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЕКТИРОВЩИКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ДЛЯ СУДОВЫХ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

*Хоанг К.К., Авксентьева Е.Ю., Нгуен К.К.*

*В статье рассмотрен жизненный цикл печатных плат судовых интегрированных систем управления (СИСУ), в котором описаны особенности проектирования и изготовления печатных плат СИСУ. Представлены обобщенный маршрут проектирования печатных плат СИСУ и схема принятия проектных решений в процессе проектирования печатных плат СИСУ, которые позволяют уменьшать затраты на конструкторские работы и повышать качество инженерных работ.*

*Исследование носит обзорный характер и подойдет для подготовки методического обеспечения обучения автоматизированному проектированию (АПР) печатных плат СИСУ. Описанные в статье компетенции проектировщика позволяют сформулировать требования к квалификации проектировщиков на судовых предприятиях и выпускникам морских технических вузов.*

*Разработанная компетентностная модель проектировщика позволяет определить содержание обучения и может использоваться для разработки адаптивной системы обучения проектированию печатных плат СИСУ.*

**Ключевые слова:** *профиль проектировщика; компетенция проектировщика; печатная плата; судовые интегрированные системы управления; проектно-производственная среда; проектная деятельность персонала; автоматизированное проектирование.*

**ANALYSIS OF THE DESIGN AND PRODUCTION  
ENVIRONMENT AND DESIGN ACTIVITIES OF THE  
PERSONNEL OF COMPUTER-AIDED DESIGN SYSTEMS  
ARE TO DETERMINE THE CONTENT OF THE FIELD  
OF TRAINING IN COMPUTER-AIDED DESIGN OF PCB  
INTEGRATED SHIP MANAGEMENT SYSTEM**

***Hoang C.K., Avksentieva E.Y., Nguyen Q.C.***

*The article discusses the life cycle of printed circuit boards of ship Integrated Ship Management System (PCB ISMS), which describes the design and manufacturing features of PCB ISMS. A general design route and a design decision making schemes in the design process of the PCB ISMS presented which allow to reduce the cost of design work and increase engineering work are considered. The research is interested as an overview and is suitable for the preparation of methodological provision for teaching computer-aided design (CAD) PCB ISMS. The competencies of the designer described in the article will make possible to specialty the requirements for the designers' qualifications at ship-building enterprises and graduates of maritime technical universities. The developed competence model of the designer allows to determine the content of training and can be used to develop an adaptive learning system for designing printed circuit boards.*

**Keywords:** *designer's profile; designer's competence; printed circuit board; ship integrated management systems; design and production environment; personnel design activities; computer-aided design.*

### **Введение**

Задача исследования состоит в том, что проанализировать проектно-производственную среду и проектную деятельность персонала систем автоматизированного проектирования (САПР) в комплексных автоматизированных системах с целью определения содержания области обучения АПР ПП СИСУ. Жизненный цикл печатных плат (ПП) СИСУ представляет собой непрерыв-

ный процесс из определенных этапов, который начинается с момента принятия решения о необходимости создания ПП СИСУ до прекращения ее использования. Особенности проектирования и изготовления ПП СИСУ определяют состав и функциональные подсистемы [2, 5], в которые входят:

- ПП СИСУ – отличаются сложностью и разнообразием формы, которые зависят от назначения и основных характеристик судов. Так, в процессе проектирования широко применяются технологии двухмерных и трехмерных моделей, чтобы реализовать САД-технологий и конструкции СИСУ;
- необходимость автоматизации решения инженерных задач: расчетов и анализов физических процессов, проверки их работоспособности, являющихся функцией специализированных САЕ-технологий;
- особенность обеспечения автоматизации программирования и управления оборудованием с числовым программным управлением в САМ-технологиях и подсистемах;
- специфика используемых электронных технических документов и моделей в проектировании, обеспечивающая управление всей информации об СИСУ, реализуемых средствами PDM-технологий и систем.

### **1. Обобщенный маршрут проектирования ПП СИСУ**

В настоящее время существует достаточно большое количество пакетов АПР ПП, в том числе ПП СИСУ. Проектирование в этой области является автоматизированным и непосредственно осуществляется поддержкой и контролем проектировщика, основным из которых является человеко-машинный диалог. К наиболее популярным САПР ПП относятся: Altium Designer, Mentor Graphics, Dip Trace, KiCAD, Delta Design, OrCAD, .... Система проектирования ПП представляет собой сложный комплекс программ, обеспечивающий сквозной цикл, включающий себя создание библиотеки электронных компонентов и разработку электрической принципиальной схемы, редактор печатных плат и экспорт

стандартных форматов и конструкторской документации [4, 12]. На рисунке 1 представлен обобщенный маршрут проектирования ПП СИСУ Altium Designer.



Рис. 1. Обобщенный маршрут проектирования ПП СИСУ Altium Designer

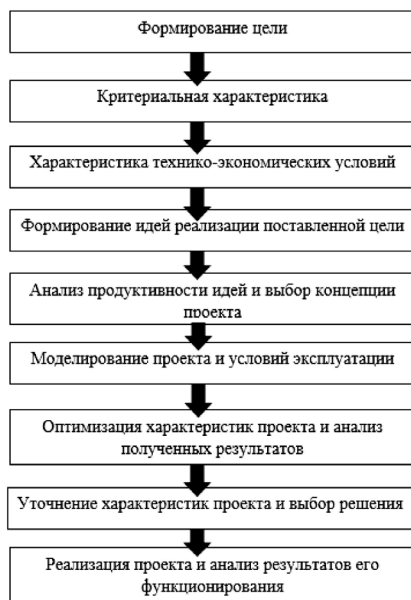


Рис. 2. Схема принятия проектных решений

В процессе проектирования ПП СИСУ затраты на конструкторские работы значительно меньше затрат на инженерные работы, поэтому решение задачи по проектированию является важным элементом. Принятие решения характерно для проектирования ПП СИСУ и

в прочих инженерных задачах. Возможность количественной оценки последствий принятия решения превращает искусство в науку, называемой теорией принятия решений. В рамках теории принятия решений проектированием является непрерывная последовательность актов принятия решений, чтобы построить описание проектируемого объекта с заданной степенью детализации [1,3]. Схема проектных процедур задач проектирования представлена на рисунке 2.

## **2. Особенность обучения АПР ПП СИСУ**

Особенность обучения автоматизированному проектированию состоит в том, чтобы обучать будущих инженеров разрабатывать и анализировать материальные изделия с помощью применения теории принятия решений, подходов и инструментальных средств САПР. Основными особенностями этих подходов к проектированию сложных систем являются [7, 10]:

- структуризация процесса проектирования, выражаемая декомпозицией проектных задач и документации, выделением стадий, этапов, проектных процедур. Эта структуризация является сущностью блочно-иерархического подхода к проектированию;
- итерационный характер проектирования;
- типизация и унификация проектных решений и средств проектирования.

Главными задачами обучения проектированию объектов являются теоретическое и экспериментальное обоснование внедрения проектного метода и синтеза структуры проектируемых объектов и обучение использованию приобретенными знаниями и навыками для решения познавательных и практических задач. Задача структурного синтеза основывается на теории принятия решения и состоит из определения цели, множества возможных решений и технико-экономических условий.

Действуют стандарты, которые нужно соблюдать на стадии создания автоматизированных систем – российский ГОСТ 34.601-90 и международный стандарт ISO 12207:2017.

При проектировании сложных систем используются следующие стили проектирования [13]:

- нисходящий – четкая реализация проектирования сверху вниз к спиральной модели разработки программного обеспечения; используются обратные связи. Чаще всего применяются нисходящий стиль блочно-иерархического проектирования;
- восходящий – это проектирование, при котором выполнение процедур низких уровней переходит к процедурам более высоких иерархических уровней.

Верхний уровень проектирования автоматизированных систем выполняются в процессе предпроектных исследований, формулировки технических заданий, разработки эскизного проекта и прототипирования [6]:

- предпроектные исследования – это анализ деятельности предприятия, на котором будут создаваться или моделироваться автоматизированные системы, и, после этого, оформление исходной концепции автоматизированных систем, включающей в себя предложения по изменению структуры предприятия, взаимодействию подразделений и информационным потокам;
- технические задания – должны содержать потоки входной информации, типы выходных документов и предоставляемых услуг, уровень защиты информации, требования к производительности;
- Эскизный проект – описывается архитектура системы, структура ее подсистема и состав модулей, а также предложения по выбору базовых программно-аппаратных средств, которые должны учитывать прогноз развития предприятия;
- Прототип автоматизированных систем – набор программ, которые имитируют работу готовой системы. С помощью этого этапа разработчик и заказчик увидят контуры и особенности системы, и можно корректировать проект до совершенствования.

### 3. Компетенции проектировщика в области АПР ПП СИСУ

Практика обучения АПР и опыт использования САПР в учебном процессе широко обсуждаются на научно-методических конференциях. В технических вузах для того, чтобы готовить студентов для судостроения, предусматривается использование методического обеспечения и технологии САПР. Актуальность задач подготовки будущего инженера, готового к эффективной работе с современными автоматизированными системами, отмечают не только вузами, но и судостроительными заводами. Проверка уровня обучаемого проектировщика выполняется по параметрическим критериям: знаниям, умениям, навыкам и адаптивности [8, 9]. Определим основные термины: знание, умение, навыки и адаптивность проектировщика.

Знания – результат формализованных сведений, представлений об объекте проектирования на определенном уровне, который можно логически или фактически обосновать, и эмпирически или практически проверить.

Умения – способность выполнить действия на основе полученных знаний автоматизированного проектирования и проектной практики, формирующаяся путем упражнений в привычных, но и в изменившихся условиях.



Рис. 3. Структура компетенции проектировщика ПП СИСУ

Навыки – это автоматизированные компоненты сознательного действия обучающихся в проектной деятельности, достигшего наивысшего уровня сформированности.

Адаптивность проектировщика – способность приспосабливаться к внедрению знаний, умений и навыков в области структурно-параметрического синтеза промышленных объектов САПР.

Компетентность проектировщика – совокупность знаний, умений, навыков и адаптивности в области проектирования промышленных объектов.

На рисунке 3 показана структура компетенции проектировщика ПП СИСУ.

Рассмотрим начальные условия задачи проектирования печатных плат судовых интегрированных систем управления и концептуальные подходы к её решению. В качестве исходного условия будем учитывать, что инструментальное средство, обладает ограниченным диапазоном функциональных возможностей независимо от его характера. При этом комбинация двух и более средств может дать не только положительный, но и отрицательный эффект, который усугубляется отсутствием соответствующей организации и элементов управления системой. В результате рассмотрения профессиональных стандартов были выделены следующие компетенции проектировщика АПР ПП СИСУ [11]:

- способность проводить теоретические и экспериментальные исследования при помощи моделирования и математического анализа, применять законы и базовые методы в профессиональной деятельности АПР ПП СИСУ;
- способность обладать достаточным уровнем самостоятельности новых знаний и навыков с применением современных технологий в области АПР ПП СИСУ;
- приобретение навыков для профессиональной деятельности с персональным компьютером;
- способность обладания знаниями методов, способов и средств получения, хранения, переработки информации для решения коммуникативных задач;
- способность использовать программные средства АПР ПП при осуществлении профессиональной деятельности;



- способность к систематическому изучению научно-технической информации и опытов для повышения квалификации проектировщика АПР ПП СИСУ;
- умение моделировать ПП СИСУ и технологические процессы с использованием стандартных пакетов и средств АПР ПП;
- способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности с применением информационных технологий АПР ПП;
- способность проектировать компоненты, принципиальные схемы и печатные платы СИСУ с применением программных средств АПР ПП;
- способность принимать участие в работах по проектированию компонентов, принципиальной схемы и печатных плат конструкций СИСУ в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования;
- способность использовать различные виды технической документации и соблюдать требования информационной безопасности;
- способность обладать умениями применения методов контроля качества в профессиональной деятельности АПР ПП СИСУ.

Важнейшей составляющей компетентности специалиста является умение применять теоретические знания в практической работе. Несмотря на то, что современные производства накопили большой опыт решения определённых задач, большинство обучающихся систем не используют реальные задачи при подготовке специалистов, а также не интегрируются с базой проектных решений предприятия [14].

Таким образом, первой особенностью будущих инженеров в области автоматизированного проектирования является устойчивое освоение знаний и навыков, объединяющих информационные технологии со следующими дисциплинами, которые должны освоить до изучения дисциплины «Проектирование судовых инфор-

мационно-управляющих систем: психология и педагогика, информатика, информационные технологии, теория информационных процессов и систем, управление данными, моделирование систем, технология программирования, компьютерная геометрия и графика, интеллектуальные информационные системы.

Вторая особенность обучения проектированию ПП СИСУ в том, чтобы соблюсти требования к созданию комплекса учебно-методического обеспечения дидактического процесса и параллельно учесть уровень знаний, умений и навыков каждого студента, чтобы обеспечить системность и вариативность представления информации, предусмотреть возможность проработки материала в собственном каждому обучаемому темпе. Это обеспечит адекватность обучающей системы проектирования ПП СИСУ процессу овладения знаниями.

Основной задачей автоматизированных обучающих систем САПР является обучение принятию инженерных решений, обучение умениям и навыкам технического творчества [15]. Актуальной является задача обучения проектировщика пониманию связи между параметрами конкретных стратегий проектирования и качеством разрабатываемого изделия в САПР, обучения пониманию взаимосвязи схемотехнических, конструктивных, алгоритмических и структурных параметров. Решение этой задачи позволит не только повысить качество подготовки пользователей в САПР, но и оптимизировать весь процесс проектирования модулей, осуществлять обоснованный выбор параметров, прослеживать связь между действиями проектировщика через взаимовлияние конструктивных и технологических параметров, осуществлять оценку конструктивного решения с учетом особенностей реализации всего комплекса коммутационно-монтажных процедур.

## **Вывод**

Выполнен анализ проектно-производственной среды и проектной деятельности персонала САПР в комплексных автоматизированных системах. Разработана компетентностная модель проектировщика, позволяющая определить содержание, методическое

и программное обеспечение обучения автоматизированному проектированию печатных плат СИСУ, которые могут использоваться для реализации системы адаптивного обучения персонала САПР судостроительных заводов и студентов морских вузов.

### *Список литературы*

1. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем. Санкт Петербург: Моринтех, 2001, 216 с.
2. Князков В.В. Основы автоматизированного проектирования. Нижний Новгород, 2004, 177 с.
3. Иванов В.П. Оптимизационное проектирование рыболовных судов. Издательство КГТУ, Калининград, 2005, 191 с.
4. Горячев Н.В., Юрков Н.К. Типовой маршрут проектирования печатной платы и структура проекта в САПР электроники Altium Design // Труды международного симпозиума «Надежность и качество», Том 2, Пенза, 2011. С. 120-122.
5. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. Москва, 2002, 325 с.
6. Коцюба И.Ю., Чунаев А.В., Шиков А.Н. Основы проектирования информационных систем. Санкт Петербург, 2015, 206 с.
7. Кузнецова О.В. Модели и алгоритмы автоматизированного проектирования печатных узлов на основе трехмерного моделирования: Диссертация кандидата тех. наук. Санкт Петербург, 2016, 153 с.
8. Ленский Ф.В. Проектирование печатных плат в системах автоматизированного проектирования // Сборник трудов Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Томск, 2016, С. 297-298.
9. Шана М.А. Автоматизированная информационная система адаптивного обучения на основе компетентного : Диссертация кандидата тех. наук. Нальчик, 2014, 182 с.
10. Design and implementation of three-axis cost efficient CNC PCB milling machine / Fathima K., Shilpa V. J., Mahmood. S. H., Lahari M. // Recent trends in electrical, control and communication, 2019, P. 106-109.

11. Li Y., Sun D., Zhou H., Wu Q. Design of automatic test equipment for control PCB of micro flywheel // Chinese automation congress, 2019, P. 853-857.
12. Luo X. Research on communication technology of ship integrated monitoring system based on OPC // 2020 International conference in intelligent transportation, big data and smart city, 2020, P. 538 -531.
13. Mao W. L., Xie M. X., Hung C. W. Design of PCB alignment using vision servo control system // ICIC Express letters, part B: Applications, Volume 8, 2017, P. 177-184.
14. Thermal analysis of high power LEDs using different PCB materials / Kyatam S., Camacho P., Rodrigues L., Alves L.N., Mendes J.C., Figueiredo M. C. // 2017 European conference on circuit theory and design, 2017, P. 4.
15. Wang Q. Design and realization of integrated service access gateway (ISAG) for integrated fusion shipboard network // Communications in computer and information science, Volume 1146, 2019, P. 151-159.

### References

1. Gaikovich A.I. *Osnovy teorii proektirovaniya slozhnykh tekhnicheskikh system* [Foundations of the theory of design of complex technical systems]. Saint Petersburg: Morintekh, 2001, 216 p.
2. Knyazkov V.V. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Fundamentals of computer-aided design]. Nizhny Novgorod, 2004, 177 p.
3. Ivanov V. P. *Optimizatsionnoe proektirovanie rybolovnykh sudov* [Optimization design of fishing vessels]. KSTU Publishing house, Kaliningrad, 2005, 191 p.
4. Goryachev N.V., Yurkov N.K., Tipovoy marshrut proektirovaniya pechatnoy platy i struktura proekta v SAPR elektroniki Altium Design [Typical route for PCB design and project structure in CAD electronics Altium Design]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost' i kachestvo»* [Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"], Volume 2, Penza, 2011. pp. 120-122.
5. Norenkov I.P. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Basics of computer-aided design]. Moscow, 2002, 325 p.

6. Kotsyuba I.Yu., Chunaev A.V., Shikov A.N. *Osnovy proektirovaniya informatsionnykh sistem* [Fundamentals of information systems design]. Saint Petersburg, 2015, 206 p.
7. Kuznetsova O.V., *Modeli i algoritmy avtomatizirovannogo proektirovaniya pechatnykh uzlov na osnove trekhmernogo modelirovaniya* [Models and algorithms for computer-aided design of printed circuit boards on the basis of three-dimensional modeling]: Thesis of the candidate teh. sciences. Saint Petersburg, 2016, 153 p.
8. Lenskiy F.V. Proektirovanie pechatnykh plat v sistemakh avtomatizirovannogo proektirovaniya [Design of printed circuit boards in computer-aided design systems]. *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh* [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists]. National Research Tomsk Polytechnic University. Tomsk, 2016, pp. 297-298.
9. Shana M.A. *Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema adaptivnogo obucheniya na osnove kompetentnostnogo* [Automated information system of adaptive training on the basis of a competence]: the Dissertation of the candidate teh. sciences. Nalchik, 2014, 182 p.
10. Fathima K., Shilpa V.J., Mahmood. S.H., Lahari M. Design and implementation of three-axis cost efficient CNC PCB milling machine. *Recent trends in electrical, control and communication*, 2019. P. 106-109.
11. Li Y., Sun D., Zhou H., Wu Q. Design of automatic test equipment for control PCB of micro flywheel. *Chinese automation congress*, 2019, P. 853-857.
12. Luo X. Research on communication technology of ship integrated monitoring system based on OPC. *2020 International conference in intelligent transportation, big data and smart city*, 2020, P. 538-531.
13. Mao W.L., Xie M.X., Hung C.W. Design of PCB alignment using vision servo control system. *ICIC Express letters, part B: Applications*, Volume 8, 2017, P. 177-184.

14. Kyatam S., Camacho P., Rodrigues L., Alves L.N., Mendes J.C., Figueiredo M. C. Thermal analysis of high power LEDs using different PCB materials. *2017 European conference on circuit theory and design*, 2017. P. 4.
15. Wang Q. Design and realization of integrated service access gateway (ISAG) for integrated fusion shipboard network. *Communications in computer and information science*, Volume 1146, 2019, P. 151-159.

### **ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**

**Хоанг Конг Кинь**, аспирант факультета программной инженерии и компьютерной техники

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»*

*пр. Кронверкский, 49, г. Санкт Петербург, 197101, Российская Федерация*

*hoangkinh@yandex.ru*

**Авксентьева Елена Юрьевна**, доцент факультета программной инженерии и компьютерной техники, к.п.н., доцент

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»*

*пр. Кронверкский, 49, г. Санкт Петербург, 197101, Российская Федерация*

*eavksenteva@itmo.ru*

**Нгуен Куанг Кыонг**, аспирант факультета систем управления и робототехники

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»*

*пр. Кронверкский, 49, г. Санкт Петербург, 197101, Российская Федерация*

*quangcuonghvhq.cd@gmail.com*

## **DATA ABOUT THE AUTHORS**

**Hoang Cong Kinh**, Faculty of Software Engineering and Computer Engineering, Ph.D.

*ITMO University*

*49, Kronverkskiy pr., St. Petersburg, 197101, Russian Federation*

*hoangkinh@yandex.ru*

**Avksentieva Elena Yurievna**, Associate Professor of the Faculty of Software Engineering and Computer Engineering, Ph.D.

*ITMO University*

*49, Kronverkskiy pr., St. Petersburg, 197101, Russian Federation*

*eavksenteva@itmo.ru*

*ORCID: 0000-0001-5000-4868*

*Scopus Author ID: 57190830859*

**Nguyen Quang Cuong**, Faculty of Control Systems and Robotics, Ph.D.

*ITMO University*

*49, Kronverkskiy pr., St. Petersburg, 197101, Russian Federation*

*quangcuonghvhq.cd@gmail.com*